

Aus dem Institut für Leistungsmedizin, Berlin

Direktor: Professor Dr. H. Mellerowicz

**Vergleichende Untersuchungen über die
absolute und relative Trainierbarkeit bei
Intrapuberalen und Postpuberalen männlichen
Jugendlichen gemessen an der maximalen
Sauerstoffaufnahme**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

an den

Medizinischen Fachbereichen der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Uwe Hartmann

aus Berlin

1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549022_0026

Aus dem Institut für Leistungsmedizin, Berlin

Direktor: Prof. Dr.H.Mellerowicz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ABSOLUTE UND
RELATIVE TRAINIERBARKEIT BEI INTRAPUBERALEN UND
POSTPUBERALEN MÄNNLICHEN JUGENDLICHEN GEMESSEN AN
DER MAXIMALEN SAUERSTOFFAUFNAHME.

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin



vorgelegt von Uwe Hartmann
Berlin-Spandau

Referent: Professor Dr. Genz

Korreferent: Professor Dr. Mellerowicz

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fachbereiche der Freien Universität Berlin



Promoviert am: 5. Dezember 1977

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ABSOLUTE UND RELATIVE TRAINIERBARKEIT BEI INTRAPUBERALEN UND POSTPUBERALEN MÄNNLICHEN JUGENDLICHEN, GEMESSEN AN DER MAXIMALEN SAUERSTOFFAUFNAHME

1. Einleitung und Begründung

2. Methodik

2.1. Versuchspersonen

- 2.1.1. intrapuberales Gruppe
- 2.1.2. postpuberales Gruppe
- 2.1.3. ärztliche Untersuchung
- 2.1.4. Kriterien der körperlichen Reife

2.2. Untersuchungsbedingungen, Versuchsbedingungen und Versuchsablauf

2.3. Leistungsumsatzbedingungen

2.4. Statistische Methodik

2.5. Meßgeräte

2.6. Kritik der Methodik

- 2.6.1. Kritik an den Versuchspersonen
- 2.6.2. Kritik an den Untersuchungsbedingungen, Versuchsbedingungen und am Versuchsablauf
- 2.6.3. Kritik an den Untersuchungsgeräten und deren Handhabung

3. Untersuchungsergebnisse

3.1. Übersicht in Tabellenform

3.2. Übersicht in graphischer Form

4. Beurteilung der Versuchsergebnisse

- 4.1. die maximale Sauerstoffaufnahme
- 4.2. die maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht
- 4.3. das Atemminutenvolumen
- 4.4. die Herzschlagfrequenz
- 4.5. der maximale Sauerstoffpuls
- 4.6. das Atemäquivalent
- 4.7. der respiratorische Quotient
- 4.8. die Wattleistung
- 4.9. leistungsbeeinflussende Faktoren

5. Zusammenfassung

6. Literatur

1. EINLEITUNG UND BEGRÜNDUNG

=====

In der Frage von Leistung, Belastbarkeit und Trainierbarkeit heranwachsender Jugendlicher besonders in Mittelstrecken und Dauerleistungen herrscht bei Sportlehrern und Trainern, bei Kinder- und Sportärzten auch heute noch Unsicherheit, weil bisher zu wenig exakte Untersuchungsergebnisse vorliegen.

Die ältere Lehrmeinung (u.a. Nöggerath, Kaup) betrachtet die Pubeszenz als eine Phase körperlicher Schonung, in der Mittel- und Dauerleistungen weitgehend vermieden werden sollten, um den heranwachsenden Organismus nicht zu schädigen.

Astrand, Bengtsson und besonders Mellerowicz haben demgegenüber wiederholt auf die Wichtigkeit eines regelmäßigen Trainings von Jugendlichen - auch während der Pubertät - hingewiesen, weil sich ohne jugendgemäße Übungen auch in Mittel- und Dauerleistungen der Gesamtorganismus nicht optimal entwickeln kann.

Diese und andere Autoren haben in vergleichenden Untersuchungen über die Entwicklung von Schnellkraft-, Mittelstrecken- und kurzen Dauerleistungen herausgefunden, daß Jugendliche mit zunehmendem Alter eine absolut größere Leistungs- und Erholungsfähigkeit besitzen. Setzt man die Ergebnisse jedoch in Relation zum Körpergewicht, so besteht in allen Altersstufen einschließlich der Phase der puberalen Entwicklung eine annähernd gleiche relative Leistungsfähigkeit.

Noch weiter in der Beurteilung dieser Frage gehen Dietrich et al. (4). Sie konnten bei ihren Untersuchungen über den Einfluß eines Trainings auf die absolute und relative Herzgröße bei 14 - 19jährigen Jungen und Mädchen zeigen, daß die Trainierbarkeit der konditionellen Fähigkeiten in der Zeit der steilsten wachstumsbedingten Zunahme der leistungsbeeinflussenden Parameter besonders gut ist. Die Entwicklungsphase des Übergangs vom Kind zum Erwachsenen stellt ihrer

Meinung nach die Zeit der optimalen Trainierbarkeit von Ausdauer und Kraft dar.

Ziel dieser Arbeit war es, zwei annähernd homogen zusammengesetzte Gruppen streng intra- bzw. postpuberaler männlicher Jugendlicher vergleichend zu untersuchen und dabei herauszufinden, ob und in welchem Maße die körperliche Reifungsphase die absolute und relative Trainierbarkeit Jugendlicher für Mittel- und Dauerleistungen - gemessen an spiroergometrischen Parametern - beeinflusst.

2. METHODIK =====

2.1. Versuchspersonen

Es wurden 36 Schüler der Freiherr-vom-Stein-Schule in Berlin-Spandau untersucht, die sich im Verhältnis 20:16 auf eine intrapubereale und eine postpubereale Gruppe verteilten.

2.1.1. Intrapubereale Gruppe

a) Alter

Der intrapuberalen Gruppe gehörten 20 Schüler an, von denen zu Beginn der Untersuchungen der älteste 13 Jahre und 10 Monate, der jüngste 12 Jahre und 1 Monat alt war; das Durchschnittsalter lag bei genau 13 Jahren.

b) sportliche Anamnese

Alle Schüler nahmen während der Versuchsperiode am Schulsport teil, der an drei Wochentagen jeweils eine Unterrichtsstunde umfaßte. Darüber hinaus gehörten neun Schüler einem Sportverein an (vier Fußballspieler, 1 Turner, 1 Tischtennisspieler und drei Leichtathleten), ein weiterer Schüler nahm an einer Leichtathletikgruppe der Schule teil.

Vor Beginn der Versuche wurde anamnestisch bei den Vereinsmitgliedern eine durchschnittliche Trainingszeit von rund 2 1/2 Stunden pro Woche ermittelt. Bei den täglichen Befragungen während der Versuchsperiode wurden im Durchschnitt jedoch nur Trainingszeiten von rund 1 1/4 Stunden pro Woche angegeben. Eine Kontrolle dieser Angaben war nicht möglich. Die Nichtvereinsmitglieder trieben etwa 30 Minuten Freizeitsport in der Woche.

2.1.2. Postpuberale Gruppe

a) Alter

In der postpuberalen Gruppe nahmen 16 Schüler an der Untersuchung teil, deren Durchschnittsalter 17 1/2 Jahre betrug. Der älteste Schüler war 19 3/4 Jahre alt, der jüngste 15 1/2.

b) Sportanamnese

In der postpuberalen Gruppe gehörten acht Schüler einem Sportverein an (3 Fußballspieler, 2 Handballspieler, 2 Leichtathleten und 1 Kraftsportler), die vor Versuchsbeginn angaben, etwa 4 Stunden pro Woche in den Vereinen Sport zu treiben. Für die Zeit der Trainingsperiode ergab sich bei den täglichen Befragungen ein tatsächlicher Wochendurchschnitt von 3 Stunden.

Die Nichtvereinsmitglieder brachten es auf durchschnittlich ca. 2 Wochenstunden sportlichen Trainings, den sie hauptsächlich in Arbeitsgemeinschaften der Schule absolvierten.

In guter Übereinstimmung mit der intrapuberalen Gruppe standen für den Schulsport 3 Unterrichtsstunden pro Woche zur Verfügung.

2.1.3. Ärztliche Untersuchung

Alle Versuchspersonen wurden vor und nach der Trainingsperiode einer gründlichen körperlichen Untersuchung unterzogen.

Es wurde ein Ruhe-EKG geschrieben, ferner wurden Größe und Gewicht, Blutdruck und Pulsfrequenz jeweils im Liegen, die Vitalkapazität sowie die Fettfaltendicke der Haut über dem Triceps gemessen. Eine Urinuntersuchung auf Eiweiß, Glukose, Urobilinogen, Nitrite, Sedimente und pH wurde zusätzlich durchgeführt.

In allen Fällen ergaben sich keine wesentlichen pathologischen Befunde.

Patienten-Name, Alter, Gewicht, Größe, Ruhe-Herzfrequenz im

Liegen und Vitalkapazität werden in der Tabelle 1 aufgeführt.

2.1.4. Kriterien der körperlichen Reife

Nach den Untersuchungen von Tanner (28) und Thörner (29) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß sich 12- und 13-jährige männliche Jugendliche in der Phase der Pubertät befinden, während 16-19jährige als postpuberal angesehen werden können.

Bei allen Versuchspersonen wurden der Längs- und Querdurchmesser der Hoden festgestellt und aus diesen Werten mittels einer Modellvergleichskette approximativ das Hodenvolumen bestimmt. Die von uns gefundenen Volumenwerte wurden mit einer von Zilko und Loron aufgestellten Beziehung zwischen Hodenvolumen und kalendarischem Alter verglichen, um etwaige Abweichungen von den für die einzelnen Altersstufen angegebenen Mittelwerte zu finden.

Entsprechend der von Tanner (28) hinsichtlich der Schambehaarung sowie der Größe und Form des männlichen Gliedes getroffenen Einteilung in 5 Reifestadien wurden die genannten Kriterien bei allen Versuchspersonen beurteilt und die Schüler den einzelnen Pubertätsstadien zugeordnet. War die Zuordnung nach den Kriterien von Tanner nicht eindeutig möglich, wurden weitere Merkmale der körperlichen Reifung wie Achselbehaarung und Stimmbruch bei der Beurteilung hinzugezogen.

Faßt man alle genannten Reifekriterien zusammen, so hatten bei der postpuberalen Gruppe alle Teilnehmer die Kriterien der Vollreife erfüllt, die bei der intrapuberalen Gruppe keiner erreichte. Sämtliche intrapuberalen Schüler wiesen Zeichen der beginnenden körperlichen Reifung auf.

2.2. Versuchsablauf

Innerhalb eines Zeitraumes von fünf Wochen mußte jede Versuchsperson 22 Trainingstage absolvieren. Die ursprünglich vorgesehene Zahl von 5 Trainingswochen zu je 5 Tagen mußte wegen einzelner Feiertage um insgesamt 3 Tage verkürzt werden.

Die Leistungsstufen in Watt/kg Körpergewicht wurden nach Mellerowicz entsprechend dem relativ geringen durchschnittlichen Trainingszustand wie folgt festgesetzt:

1. Woche (5 Tage) : 1,25 W/kg Körpergewicht
2. Woche (5 Tage) : 1,50 W/kg "
3. Woche (4 Tage) : 1,75 W/kg "
4. Woche (4 Tage) : 2,00 W/kg "
5. Woche (4 Tage) : 2,00 W/kg "

Die Trainingsdauer betrug jeweils 10 Minuten pro Trainingstag.

An den Monark-Ergometern waren die einzelnen Leistungsstufen auf eine Pedalumdrehungszahl von 50 U/min ausgelegt; sie konnten über eine Änderung der Bremskraft nur in Abständen von jeweils 25 Watt gesteigert werden. Zwischenwerte ließen sich daher nur über eine Änderung der Umdrehungszahlen erreichen. Die zur Erzielung einer bestimmten errechneten Leistungsstufe erforderliche Drehzahl wurde im einfachen Dreisatzverfahren ermittelt.

Alle Geräte waren mit einem Drehzahlanzeiger ausgestattet, ein Gerät verfügte zusätzlich über ein Zählwerk. Bei ständigen Kontrollen wurde sorgfältig darauf geachtet, daß die tatsächlich geleisteten Umdrehungszahlen mit den vorgegebenen errechneten Werten übereinstimmten.

Es ergab sich insgesamt eine Anzahl von 22 Trainingstagen, die von beiden Gruppen in einem durchschnittlichen Zeitraum von jeweils fast genau 33 Tagen absolviert werden konnten.

Zwischen dem letzten Training und der Abschlußuntersuchung vergingen in beiden Gruppen durchschnittlich 36 Stunden.

Der Zeitraum der Untersuchung erstreckte sich von Anfang April bis Anfang Juni 1975.

Aus organisatorischen Gründen mußten die Versuchspersonen auf insgesamt vier Gruppen verteilt werden, die zeitversetzt im Abstand von jeweils einer Woche mit dem Training begannen. Jede Gruppe setzte sich dabei aus einer gleich großen Zahl von intra- und postpuberalen Jugendlichen zusammen.

Ein Ergebnisvergleich der einzelnen Gruppen hat keinen Einfluß dieser Maßnahme auf die Untersuchung erkennen lassen.

Grundsätzlich konnte in der Zeit von 8-14 Uhr trainiert werden, jedoch lag die Trainingszeit der Probanden in beiden Gruppen im wesentlichen zwischen 10 und 13 Uhr.

Es wurde in einem ausreichend großen Raum trainiert, der bei Zugfreiheit gut zu belüften und der direkten Sonneneinstrahlung entzogen war. Die Raumtemperatur konnte stets im Bereich von 18-22° gehalten werden.

An jedem Trainingstag wurden von jeder Versuchsperson folgende Angaben erhoben:

Die Versuchspersonen wurden zunächst nach sportlichen oder anderen körperlichen Aktivitäten am Vortag gefragt, ferner nach der Einnahme von Medikamenten und dem Genuß von Alkohol und Nikotin, sodann nach der Anzahl der Stunden Nachtschlaf sowie besonderen psychischen Belastungen.

Uhrzeit des Trainings und Raumtemperatur wurden festgestellt und dann der Ruhepuls ermittelt. Während des 10minütigen Trainings wurde die Einhaltung der vorgegebenen Leistung ständig kontrolliert.

In der letzten Minute des Trainings unmittelbar vor Beendigung der Leistung wurde mit Hilfe von Stethoskop und Stoppuhr der Leistungspuls ermittelt. Dabei wurde die Zeit für zehn Herzaktionen gestoppt und auf die Minute umgerechnet.

2.3. Leistungsumsatzbedingungen

Bei den spiroergometrischen Untersuchungen wurden die Leistungsumsatzbedingungen nach Vereinbarung des Standardisierungskomitees für Ergometrie im ICSPE eingehalten.

a) Die Ernährung vor dem Untersuchungstag ist möglichst wenig zu ändern. Am Untersuchungstag ist bis 3 Stunden vor der Untersuchung eine kleine Kohlenhydratmahlzeit erlaubt (2 Schnitten mit Aufstrich und 1 Glas Getränk, z.B. Wasser, Fruchtsaft, Milch).

b) Am Vortage sind größere physische und psychische Beanspruchungen, am Untersuchungstage auch kleine körperliche sowie andere Beanspruchungen vor der Untersuchung zu vermeiden, weil sie den Leistungsumsatz bei ergometrischen Untersuchungen verändern können.

c) Alle Medikamente, auch Genußmittel wie Kaffee, Tee und Nikotin sind am Untersuchungstage, Medikamente mit länger anhaltender Wirkung bereits an den Vortagen zu vermeiden. Erforderliche Medikamente sind im Untersuchungsprotokoll zu vermerken.

d) Bei wiederholten ergometrischen Untersuchungen ist stets die gleiche Tageszeit zu wählen, weil sich die Leistungsfunktionen im Laufe des Tages ändern.

e) Vor der Untersuchung ist dem Probanden der Gang der Untersuchung zu erklären. Er ist möglichst zu beruhigen.

f) Vor Beginn der Untersuchung soll der Proband minimal 10 Minuten sitzend, besser liegend, ruhen.

g) Bei der Untersuchung soll aus thermoregulatorischen Gründen nur eine kurze Hose getragen werden.

2.4. Statistische Methodik

Der statistischen Berechnung lagen folgende Formeln zugrunde:

a) Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

b) Standardabweichung s

$$s = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

c) Mittlerer Fehler des Mittelwertes s_M

$$s_M = \frac{s}{n}$$

d) Mittlere Abweichung der Differenz $s_{\text{Diff.}}$

$$s_{\text{Diff.}} = \sqrt{s_{M1}^2 + s_{M2}^2}$$

e) Signifikanz der Mittelwertdifferenzen (nach T-Test)

$$t = \frac{M_1 - M_2}{s_{\text{Diff.}}}$$

Dann p-Werte aus der t-Verteilungstabelle entnehmen (Freudenberg, 6, S. 312)

p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Entsprechend dem Vorschlag von Freudenberg wird die Signifikanz folgendermaßen unterteilt:

$p > 0,05$: nicht signifikant

$0,005 < p < 0,05$: signifikant

$p < 0,005$: hoch signifikant

2.5. Meßgeräte

Für die Durchführung des Trainings standen drei mechanisch gebremste Monark-Fahrrad-Ergometer nach Astrand zur Verfügung, bei denen stets Fußkurbelarbeit im Sitzen geleistet wird.

Die Bremsung des Ergometerschwungrades wird durch einen Bremsriemen erreicht, der den größten Teil des Schwungradumfangs umläuft. Der Bremsriemen ist oben auf der Pedaltrommel punktförmig angeschraubt, die die Drehachse des in sich starren Pendels der Pendelwaage bildet. Das Pendel, das aus Pendeltrommel, Pendelarm und Pendelgewicht besteht, hängt im Ruhezustand senkrecht herab und wird bei Zug am angeschraubten Bremsriemen ausgelenkt. Die Auslenkung und damit die Zugkraft ist an der in Kilopond geeichten Skala ablesbar. Eine weitere, in Lenkradnähe befindliche Skala ermöglicht es auch dem Trainierenden, die Einhaltung der Zugkraft zu kontrollieren.

Sattelhöhe und Lenkerstellung lassen sich leicht verändern und den individuellen Verhältnissen anpassen. Die Sattelhöhe wurde bei der Durchführung des Trainings stets so eingestellt, daß bei ausgestrecktem Bein der auf dem Pedal aufliegende Fuß einen Winkel von $90-120^{\circ}$ zum Unterschenkel bildete.

Alle Geräte verfügten über einen Drehzahlanzeiger, der den Versuchspersonen und dem Untersucher die Kontrolle der Einhaltung der zu leistenden Umdrehungen ermöglichte. Ein Gerät zählte darüber hinaus die tatsächlich geleisteten Umdrehungen pro Zeiteinheit mit, um eine eventuelle Diskrepanz zwischen Ist- und Sollwerten aufzudecken.

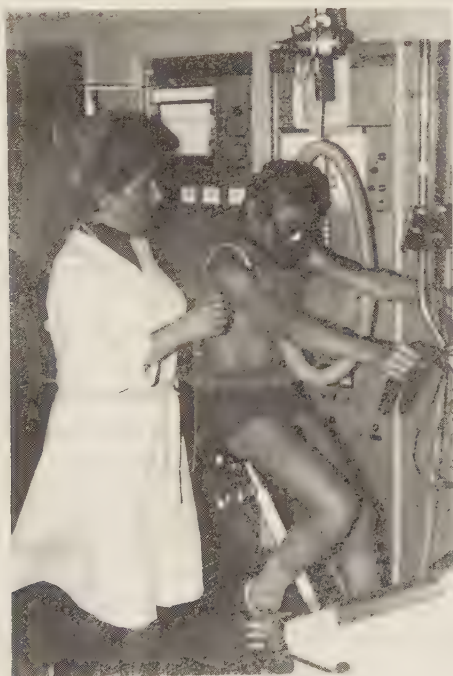
Mit Hilfe einer deutlich sichtbar aufgestellten Stoppuhr konnten Probanden und Untersucher die genaue Einhaltung der 10minütigen Trainingsperiode kontrollieren.

Vor und nach der Trainingsperiode wurden die Versuchspersonen einer gründlichen körperlichen Untersuchung sowie einem spirometrischen Maximalversuch unterzogen.

Die Vitalkapazität wurde mit einem Trocken-Spirometer vom Typ Aesculap, die Fettfaltendicke mit dem Lange Skinfold Caliper bestimmt. Vor dem spiroergometrischen Maximalversuch wurde mit einem Sechsfachschreiber der Firma Siemens vom Typ Cardirex ein Ruhe-EKG geschrieben, aus dem die Ruhepulsfrequenzen ermittelt wurden.

Für die Ergometrie stand ein elektrisch gebremstes Fahrrad-ergometer der Firma Lode aus Groningen/Holland zur Verfügung, mit dem Fußkurbelarbeit im Sitzen geleistet wurde. Auch hier wurde die Sattelhöhe stets so eingestellt, daß der auf dem Pedal aufliegende Fuß bei ausgestrecktem Bein einen Winkel von 90-120° zum Unterschenkel bildete. Die von den Probanden aufzubringende Leistung wurde durch Einstellung der Wattzahl am Lode-Ergometer vorgegeben. Die Drehzahl betrug stets 50 Umdrehungen pro Minute, wobei die Anzeige der geleisteten Drehzahlen für Probanden und Untersucher gut ablesbar war.

Versuchsperson während des spiroergometrischen Maximalversuches mit dem Lode-Ergometer. Im Hintergrund der Siemens Siregnost FD 80.



Die Anfangsleistung für die Versuchspersonen wurde nach den Vorschlägen von Mellerowicz (19) zur Standardisierung der ergometrischen Leistung ausgewählt: "Bei Versuchspersonen, bei denen eine durchschnittliche Leistungsfähigkeit zu erwarten ist, wird in jedem Fall mit 50 Watt begonnen, bei Personen, bei denen eine erhöhte Ausdauerleistung erwartet werden kann, kann mit einer Leistung von 100 Watt begonnen werden." Dementsprechend begannen die intrapuberalen Schüler mit 50, die postpuberalen mit 100 Watt.

Es wurde stets eine Ruheminute mit Registrierung aller unten genannten Werte vorgeschaltet, ehe mit der Ergometrie begonnen wurde. Bei allen Versuchspersonen wurde nach Ablauf jeder vollen Minute die Leistung um 25 Watt bis zum Erreichen der Maximalleistung gesteigert. Der Versuch wurde stets am Ende einer vollen Minute abgebrochen, wenn die Versuchsperson zu erkennen gab, daß sie glaubte, eine weitere Minute bei noch einmal gesteigerter Wattzahl nicht mehr leisten zu können.

Objektivere Kriterien waren das Erreichen einer altersgemäßen maximalen Herzfrequenz von 190-200, das Überschreiten des RQ von 1 oder ein Abfall von $\dot{A}MV_{max}$ oder $\dot{V}O_{2max}$, um das Erreichen der Leistungsgrenze annehmen zu können.

Für die Spiroergometrie stand der Siregnost FD 80 der Firma Siemens zur Verfügung, der folgende Werte fortlaufend registrierte, auf den Minutendurchschnitt umrechnete und mit einem Mehrfarbenpunktendrucker vom Typ Kompensograph mit einer Punktfolge von 2 sec. übersichtlich ausdrückte:

1. Atemminutenvolumen BTPS Meßbereich 0-60, 0-120, 0-240
2. Sauerstoffaufnahme STPD Sauerstoffanalysator Typ Doppeloxystest
Meßbereich 0-10 Vol.-%-Diff.
3. Kohlendioxidabgabe STPD Infrarot-Gasanalysator Typ Uras 4
Meßbereich 0-10 Vol.-%- CO_2
4. Pulsfrequenz 0-200 Pulsschläge/Min.
5. Zahl der Atemzüge

Aus diesen Werten wurden rechnerisch die relative Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht, der PO_{2max} , das Atemäquivalent sowie der RQ ermittelt. Das Gerät arbeitet nach dem ventilgesteuerten, offenen Spirometriesystem mit Atemmaske und im Meßschrank eingebautem Pneumotachographen (Atemstromrezeptor), durch den der Proband atmet. Ein pneumatisch-elektrischer Wandler setzt die Meßgrößen in elektrische

Signale um, die elektronisch weiterverarbeitet werden. Daher wird eine volumengetreue Meßwertregistrierung bei allen Atemfrequenzen gewährleistet.

2.6. Kritik der Methodik

2.6.1. Kritik an den Untersuchungspersonen

Trotz aller Bemühungen war es nicht möglich, beide Gruppen in idealer Weise ausschließlich mit untrainierten Schülern zu besetzen, die für eine derartige Untersuchung nicht zu motivieren waren.

In den beiden Gruppen von 20 intrapuberalen und 16 postpuberalen Schülern gehörten jeweils die Hälfte einem Sportverein an. Die Annahme zweier annähernd homogen zusammengesetzter Gruppen wurde dadurch etwas eingeschränkt, daß sich aus den anamnestischen Angaben über die sportliche Betätigung während der Trainingsperiode ein unterschiedlicher Trainingsumfang der beiden Gruppen entnehmen ließ. Die Zuverlässigkeit der Angaben der Versuchspersonen über ihre Trainingshäufigkeit und Dauer konnte nicht nachgeprüft werden.

Ein gewisser Unsicherheitsfaktor durch die größere Trainingsquantität der postpuberalen Schüler ließ sich somit nicht ausschließen.

Ursprünglich hatten in jeder Altersgruppe 22 Versuchspersonen mit dem Training begonnen, von denen einige wegen unvorhersehbarer Ereignisse wie Verletzung und Krankheit nicht regelmäßig am Training teilnehmen bzw. wegen eines Defektes des Untersuchungsgerätes abschließend nicht spiroergometrisch untersucht werden konnten. Ansonsten wurden die Ergebnisse aller Versuchspersonen in dieser Arbeit berücksichtigt.

Die gründliche körperliche Untersuchung in Verbindung mit einer sorgfältig erhobenen Anamnese ergab keinen Hinweis auf ein pathologisches Geschehen.

Vor den spiroergometrischen Untersuchungen wurden die Probanden mit den Leistungsumsatzbedingungen unter dem Hinweis auf genaue Einhaltung bekanntgemacht. Eine Kontrolle war zwar nicht möglich, jedoch wurden alle Versuchspersonen über die Einhaltung der Leistungsumsatzbedingungen befragt.

2.6.2. Kritik an den Untersuchungsbedingungen und dem Versuchsablauf

Aus organisationstechnischen Gründen mußte so verfahren werden, daß im Abstand von je einer Woche insgesamt vier Gruppen untersucht wurden und anschließend mit dem Training begannen. Jede Gruppe setzte sich dabei aus einer gleich großen Zahl von intra- und postpuberalen Schülern zusammen.

Es ergeben sich keinerlei Hinweise dafür, daß der zeitversetzte Untersuchungs- und Trainingsbeginn die Untersuchungsergebnisse nennenswert beeinflußt hat.

Während des täglichen Trainings wurde ebenso wie bei den spiroergometrischen Untersuchungen die Raumtemperatur kontrolliert, die stets im Bereich der international definierten Leistungsumsatzbedingungen lag.

Beide Gruppen absolvierten die 22 Trainingstage in durchschnittlich fast genau 33 Tagen; zwischen dem letzten Training und der Abschlußuntersuchung vergingen in beiden Gruppen jeweils 36 Stunden. Für die spiroergometrischen Untersuchungen wurde streng darauf geachtet, für jede Versuchsperson vor und nach der Trainingsperiode stets die gleiche Tageszeit zu wählen, weil sich die Leistungsfunktionen im Laufe des Tages verändern.

2.6.3. Kritik an den Untersuchungsgeräten und deren Handhabung

Das für die spiroergometrischen Untersuchungen benutzte Lode-Ergometer war ebenso geeicht wie der Siemens Siregnost FD 80.

Bei den spiroergometrischen Untersuchungen wurde für alle Leistungsstufen eine Umdrehungszahl von 50/min gewählt, wobei eine einheitliche Drehzahl eine Vereinfachung des Untersuchungsablaufes bedeutet, da bei einer Steigerung der Leistung lediglich die Bremskraft verändert werden muß.

An jedem Trainingstag wurden die Funktionstüchtigkeit der geeichten Monark-Ergometer sowie der Nullpunkt der Skalen bei lockerem Bremsriemen überprüft. Während des Trainings war der Untersucher ständig zugegen, um etwaige Abweichungen von der Sollleistung zu korrigieren. Auf eine genaue Einhaltung der 10minütigen Trainingszeit wurde sorgfältig geachtet.

3. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

=====

3.1. Übersicht in Tabellenform

- 3.1.1. Tabelle I enthält Angaben über Name, Größe, Gewicht, Alter und Vitalkapazität jeder Versuchsperson vor Beginn der Trainingsperiode.
- 3.1.2. Die Tabellen II a und b geben in beiden Gruppen für jede Versuchsperson die bei maximaler Leistung erzielten Werte der max.O₂-Aufnahme, der max.O₂-Aufnahme pro kg Körpergewicht sowie des max.O₂-Pulses vor und nach dem Training an.
- 3.1.3. Die Tabellen III a und b zeigen die Leistungsdauer, die maximal erzielte Wattleistung sowie das dabei ventilierte Atemminutenvolumen jeder Versuchsperson vor und nach der Trainingsperiode an.
- 3.1.4. Die Tabelle IV stellt eine Übersicht der durchschnittlichen Ruhepulsfrequenz, der Herzfrequenz bei maximaler Leistung, des respiratorischen Quotienten sowie des Atemäquivalentes in beiden Gruppen vor und nach dem Training dar.
- 3.1.5. Aus der Tabelle V läßt sich am Beispiel des Atemminutenvolumens und des Atemäquivalentes die ökonomisierende Wirkung des Trainings in beiden Gruppen erkennen.

Einzelheiten dazu siehe Text (4.3. und 4.6.).

3.2. Übersicht in graphischer Form

Die Abbildungen I-IV stellen für die maximale Sauerstoffaufnahme, die maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht, den maximalen Sauerstoffpuls sowie das maximale Atemminutenvolumen die durchschnittlichen Werte beider Gruppen vor und nach dem Training sowie den trainingsbedingten Leistungszuwachs vergleichend gegenüber.

Tabelle I

intrapubertale Gruppe						postpubertale Gruppe					
Name	Alter	Gewicht in kg	Größe in cm	Vitalkapazität in ml	Name	Alter	Gewicht in kg	Größe in cm	Vitalkapazität in ml		
1. F.O.	13 10/12	40,0	159,5	3100	1. K.L.	19 9/12	62,0	169,5	4200		
2. R.Z.	13 9/12	56,5	155,5	3000	2. K.G.	18 9/12	62,0	172,0	4300		
3. T.H.	13 8/12	46,7	162,5	2850	3. H.B.	18 6/12	70,0	176,5	4700		
4. R.G.	13 3/12	53,2	169,0	3400	4. J.H.	18 2/12	67,0	171,0	4700		
5. U.S.	13 3/12	46,0	160,5	3050	5. T.M.	18 2/12	58,7	180,0	4600		
6. D.A.	13 2/12	57,5	157,5	3450	6. R.F.	18 2/12	64,7	176,0	5000		
7. T.B.	13 1/12	34,7	144,0	2500	7. U.V.	18 1/12	84,0	191,0	5600		
8. S.J.	13 1/12	47,0	158,0	3600	8. D.A.	17 10/12	71,0	175,0	4500		
9. U.H.	13 1/12	46,3	161,5	2500	9. A.O.	17 2/12	58,0	179,0	4600		
10. A.J.	13	45,6	160,0	2650	10. A.K.	16 11/12	69,5	172,0	4400		
11. T.G.	13	55,0	165,0	3100	11. D.T.	16 11/12	80,5	189,5	6300		
12. F.E.	12 10/12	60,0	163,5	3400	12. H.G.	16 3/12	59,2	174,0	4500		
13. R.S.	12 9/12	51,5	164	3400	13. F.S.	16	68,0	178,0	5300		
14. M.K.	12 9/12	38,5	151,5	2500	14. A.Kos.	15 9/12	69,3	177,0	4800		
15. S.B.	12 8/12	49,2	156,0	2350	15. A.T.	15 8/12	62,2	179,0	4600		
16. T.S.	12 7/12	40,0	152,5	2700	16. M.R.	15 6/12	63,3	173,5	5150		
17. J.K.	12 7/12	42,7	152,0	2500							
18. M.M.	12 7/12	49,7	154	2600							
19. U.J.	12 6/12	58,7	169	3100							
20. A.Z.	12 1/12	54,0	169,5	3600							
Mittelwert	13	48,6	159,3	2968	Mittelwert	17 6/12	66,8	177,1	4592		

Tabelle IIA

Intrapubertale Gruppe	VO ₂ max STPD		Angaben in l		VO ₂ max/kg		Angaben in ml		PO ₂ max		Angaben in ml	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
1. F.O.	2.10	2.55	52.5	64.55	22.96	11.17	13.42					
2. R.Z.	2.67	3.00	47.25	52.17	10.42	13.02	14.85					
3. T.H.	2.55	3.22	54.60	66.80	22.35	13.08	15.94					
4. R.G.	2.97	3.18	55.83	58.45	4.70	16.59	17.09					
5. U.S.	2.05	2.28	44.56	48.72	9.33	10.67	12.26					
6. D.G.	2.42	2.83	42.09	49.65	17.96	12.47	14.74					
7. T.B.	1.60	1.84	46.11	52.57	14.00	8.25	9.68					
8. S.J.	1.90	2.47	40.42	52.00	28.64	9.90	12.54					
9. U.H.	2.48	3.24	53.56	68.06	27.10	13.33	16.36					
10. A.J.	2.25	2.60	49.34	56.89	15.30	11.97	13.40					
11. T.G.	2.30	3.00	41.82	55.14	31.86	11.73	15.15					
12. F.E.	2.85	3.80	47.50	63.86	34.45	15.24	19.29					
13. R.S.	2.34	2.87	45.43	55.72	22.66	11.58	14.28					
14. M.K.	2.53	3.15	65.71	79.34	20.75	13.39	16.07					
15. S.B.	1.97	2.57	40.04	52.44	30.99	9.85	12.91					
16. T.S.	2.10	2.32	52.50	59.18	12.72	10.71	11.48					
17. J.K.	2.23	2.40	52.22	56.20	7.06	11.99	13.04					
18. M.M.	2.05	2.19	41.25	44.60	8.12	10.15	11.06					
19. U.J.	2.70	3.75	46.00	64.43	40.00	13.92	18.38					
20. A.Z.	2.24	2.65	41.48	49.25	18.73	11.79	13.38					
Mittelwert	2.32	2.80	48.01	57.50	19.76	12.04	14.27					
Standardabw.	0.339	0.506	6.56	8.30		1.95	2.44					
%	20.73		18.48									

Tabelle IIb

postpuberale Gruppe	VO ₂ max STPD	Angaben in l		VO ₂ max/kg	Angaben in ml		PO ₂ max	Angaben in ml
	I.	II.	I.	I.	II.	I.	II.	
1. K.B.	3.20	3.78	51.60	61.46	19.1	17.02	20.54	
2. K.G.	4.00	4.28	64.50	70.16	8.8	21.72	21.40	
3. H.B.	4.13	4.87	59.00	69.37	17.6	20.86	25.23	
4. J.H.	3.40	3.85	50.70	58.16	14.7	16.83	19.35	
5. T.M.	3.38	4.24	57.58	71.50	24.17	17.70	20.99	
6. R.F.	3.83	4.41	59.20	67.64	14.3	18.87	21.72	
7. U.V.	3.35	3.94	39.88	47.20	18.3	17.91	21.18	
8. D.A.	3.95	5.06	55.63	70.96	27.6	22.32	26.08	
9. A.O.	3.97	4.73	68.45	80.58	17.72	20.15	23.42	
10. A.K.	3.88	4.55	55.83	65.85	17.9	20.10	22.98	
11. D.T.	3.82	4.28	47.45	52.19	10.0	21.83	22.76	
12. H.G.	3.98	4.60	67.23	76.67	14.0	19.70	22.88	
13. F.S.	3.48	3.80	51.18	56.29	10.0	17.23	20.43	
14. A.Kos.	3.93	4.40	56.70	63.77	12.5	20.79	23.53	
15. A.T.	3.45	3.77	55.47	59.65	7.5	18.35	19.74	
16. M.R.	3.50	4.34	55.29	67.81	22.64	18.04	23.21	
Mittelwert	3.70	4.31	55.98	64.95	16.02	19.34	22.22	
Standardabw.	0.297	0.400	7.21	8.81	1.83	1.83	1.885	
%		16.28					14.89	

Tabelle IIIa

Intrapuberales Gruppe	Minuten		Watt		AMV max BTPS	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.
1. F.O.	6	6	175	175	51.0	66.0
2. R.Z.	6	7	175	200	62.5	52.0
3. T.H.	6	7	175	200	72.0	77.0
4. R.G.	7	8	200	225	87.5	95.2
5. U.S.	5	6	150	175	50.0	61.0
6. D.G.	6	8	175	225	55.0	74.0
7. T.B.	4	5	125	150	51.0	64.8
8. S.J.	5	6	150	175	51.5	69.0
9. U.H.	6	8	175	225	66.5	94.0
10. A.J.	6	7	175	200	67.0	76.0
11. T.G.	5	7	150	200	59.5	77.5
12. F.E.	7	9	200	250	73.0	98.0
13. R.S.	6	7	175	200	59.0	55.0
14. M.K.	6	7	175	200	65.5	75.0
15. S.B.	5	6	150	175	44.5	53.5
16. T.S.	5	6	150	175	62.0	62.0
17. J.K.	5	6	150	175	60.5	74.0
18. M.H.	5	6	150	175	60.0	62.5
19. U.J.	6	8	175	225	64.5	75.0
20. A.Z.	6	7	175	200	65.3	75.5
Mittelwert	5.65	6.85	166.25	194.44	61.41	71.85
Standardabw.	0.75	0.99	18.63	25.10	9.77	13.07

21.23 16.95 17.00

%

Tabelle IIb

postpuberale Gruppe	Minuten		Watt		AMV max BTFS	
	I.	II.	I.	II.	I.	II.
1. K.L.	7	7	250	250	118	104
2. K.G.	8	10	275	325	102	112
3. H.B.	8	9	275	300	110	82
4. J.H.	7	8	250	275	103	81.5
5. T.M.	8	9	275	300	122.5	142
6. R.F.	7	8	250	275	89	92.5
7. U.V.	8	8	275	275	101.5	116.0
8. D.A.	9	10	300	325	107.0	146.0
9. A.O.	7	7	250	250	108.5	108.5
10. A.K.	8	9	275	300	78	106.5
11. D.T.	9	10	300	325	91	94
12. H.G.	7	8	250	275	116	109
13. F.S.	7	8	250	275	97.5	94
14. A.Kos.	8	10	275	325	98	112
15. A.T.	7	8	250	275	101	118
16. M.R.	8	8	275	275	122	147
Mittelwert	7.69	8.56	267.2	289.1	104.1	110.31
Standardabw.	0.7	1.03	17.6	25.77	12.1	20.4
%	11.38	8.18				5.97

Tabelle IV

		intrapubereale Gruppe		postpubereale Gruppe	
		I.	II.	I.	II.
1. Ruhepulsfrequenz	$\bar{x}$	78,35	69,05	68,93	61,71
	s	14,46	9,69	14,47	10,25
	%	-11,87		-10,48	
2. Herzfrequenz bei max. Leistung	$\bar{x}$	192,75	195,70	191,88	193,81
	s	6,43	5,88	8,21	6,86
	%	+ 1,53		+ 1,00	
3. PQ	$\bar{x}$	0,965	0,995	1,038	0,994
	s	0,05	0,038	0,069	0,019
	%	+ 3,1		- 4,24	
4. Atemäquivalent	$\bar{x}$	26,62	26,06	28,34	25,88
	s	2,67	4,32	4,67	4,59
	%	- 2,11		- 8,69	

$\bar{x}$ = arithmetischer Mittelwert

s = Standardabweichung

Tabelle V

A. Intrapuberales Gruppe

Atemäquivalent

AMV
max

	Test I	Test II	%	Test I	Test II	%
bei 166,25 Watt (= durchschnittl.max. Leistung in Test I)	26,62	22,8	-14,1	61,41	55,82	-9,11
bei 141,25 Watt (= 1 Minute zurück)	24,22	21,46	-11,40	48,26	44,39	-8,02
bei 116,25 Watt (= 2 Minuten zurück)	22,04	20,27	- 8,01	38,10	36,17	-5,08

B. Postpuberales Gruppe

Atemäquivalent

AMV
max

	Test I	Test II	%	Test I	Test II	%
bei 267,19 Watt (= durchschnittl.max. Leistung in Test I)	28,34	23,88	-15,73	104,09	93,86	-9,83
bei 242,19 Watt (= 1 Minute zurück)	25,27	22,05	-12,71	84,18	77,43	-8,02
bei 217,19 Watt (= 2 Minuten zurück)	23,85	20,70	-13,19	70,99	64,91	-8,57

ABB. 1

Mittlere VO_{2max} (STPD) der intra- und postpuberalen Gruppe vor und nach einer Trainingsperiode von 5 Wochen mit 22 Trainingstagen. Angaben in l.

ABB. 2

Mittlere VO_{2max}/kg K. der intra- und postpuberalen Gruppe vor und nach einer Trainingsperiode von 5 Wochen mit 22 Trainingstagen. Angaben in ml.

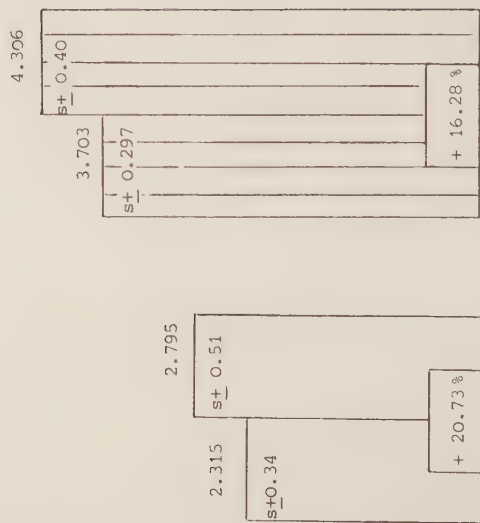


ABB. 3

Mittlerer PO_{2max} (in ml) der intra- und postpuberalen Gruppe vor und nach einer Trainingsperiode von 5 Wochen mit 22 Trainingstagen.

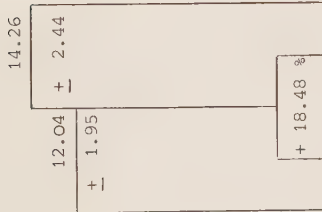
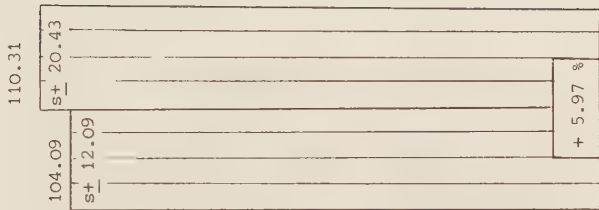
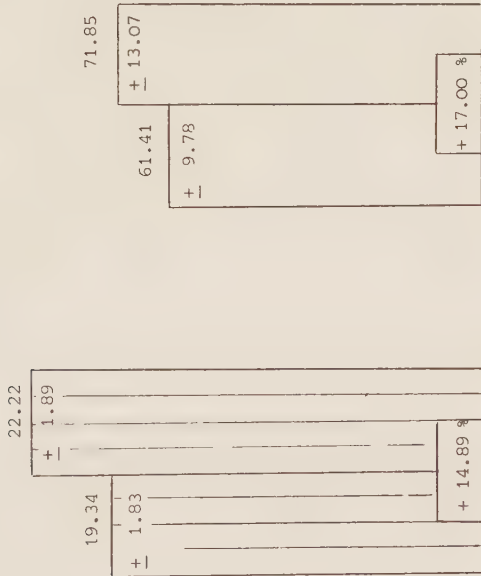


ABB. 4

Mittleres AMV_{max} (BTFS) der intra- und postpuberalen Gruppe vor und nach einer Trainingsperiode von 5 Wochen mit 22 Trainingstagen. Angaben in l.



4. BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE =====

4.1. Die maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der cardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit

Die maximale Sauerstoffaufnahme ist ein entscheidendes Kriterium, um bei Ausdauerbelastungen die Leistungsbreite des cardio-pulmonalen Systems feststellen zu können.

Als Durchschnittswerte nennt Hollmann (aus 21f) für 12- und 13-jährige Jugendliche 1810 ccm (3s Bereich $\pm$ 220), für 14- und 15-jährige 2390 ($\pm$ 310), für 16- und 17-jährige 2730 ($\pm$ 284) und für 18- und 19-jährige 3100 ($\pm$ 290).

Von Astrand (2) bei Fußkurbelarbeit im Sitzen gefundene Werte ergeben für 12- und 13-jährige 2460 ccm ($\pm$ 120), für 14- und 15-jährige 3530 ($\pm$ 220) und für 16- bis 18-jährige 3680 ($\pm$ 170).

Die bei unseren Untersuchungen gefundenen Werte entsprechen etwa den Angaben von Astrand für die jeweiligen Altersgruppen.

Die intrapuberalen Schüler hatten vor dem Training eine mittlere maximale Sauerstoffaufnahme von 2315 ccm $\pm$ 339 ccm; nach der Trainingsperiode lag die mittlere maximale Sauerstoffaufnahme bei 2795 ccm $\pm$ 506. Die absolute Steigerung betrug also 480 ccm, was gegenüber der Ausgangsleistung eine Zunahme um 20,7 % bedeutet. Dieser trainingsbedingte Zuwachs ist bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,005$ hoch signifikant.

Bei den postpuberalen Schülern betrug die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme vor dem Training 3703 $\pm$ 296 ccm, nach dem Training lag dieser Wert bei 4306 ccm $\pm$ 400 ccm, was einer absoluten Zunahme um 603 ccm und einer relativen Steigerung um 16,3 % entspricht. Auch in dieser Gruppe ist die Zunahme des maximalen Sauerstoffaufnahmevermögens bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$ statistisch hoch signifikant.

4.2. Die maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht

Die maximale Sauerstoffaufnahme wird von zahlreichen exogenen und endogenen Faktoren beeinflusst. Sie ist beispielsweise weitgehend von Konstitution und Geschlecht abhängig. Nach verschiedenen Untersuchern bestehen bei gesunden Versuchspersonen enge Beziehungen zwischen dem Absolutwert der maximalen Sauerstoffaufnahme und der bei ergometrischer Leistung erreichten höchsten Wattstufe ebenso wie zwischen dieser und dem Körpergewicht. Verschiedene Untersucher (21c, 30) haben nachgewiesen, daß die maximale Sauerstoffaufnahme mit fortschreitendem Alter bis zum 30. Lebensjahr annähernd gewichtsproportional zunimmt, um anschließend mit zunehmendem Alter pro Dekade um ca. 300 ccm abzufallen.

Bengtsson (3) fand am Fahrrad-Ergometer bei 5- bis 20-jährigen Kindern und Jugendlichen einen annähernd gewichtsproportionalen Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme. Dies bedeutet aber, daß bei Kindern und Jugendlichen die maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht annähernd gleich groß sein muß. Sie wird von Astrand (2) für 7- bis 18-jährige Kinder und Jugendliche bei Fußkurbelarbeit im Sitzen mit 57 bis 59 ml/kg Körpergewicht angegeben. Nöcker (23a) gibt für untrainierte Dauerleister eine maximale Sauerstoffaufnahme von 40 - 50 ml/kg Körpergewicht an, die bei Hochtrainierten 80 ml und mehr betragen kann.

Bei der intrapuberalen Gruppe lag der Durchschnittswert vor dem Training bei 48,01 ml/kg ($s = 6,56$), nach dem Training bei 57,50 ml/kg ($s = 8,30$ ml/kg), was einer absoluten Zunahme um 9,49 ml/kg Körpergewicht und einer prozentualen Steigerung von 19,76 % entspricht. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$ ist auch hier die Zunahme statistisch hoch signifikant.

Bei den postpuberalen Jugendlichen betrug der Durchschnittswert vor Trainingsbeginn 55,98 ml/kg Körpergewicht ($s = 7,21$). Nach Abschluß der Trainingsperiode wiesen die postpuberalen Jugendlichen einen Durchschnittswert von 64,95 ml/kg Körpergewicht ($s = 8,81$) auf. Sie steigerten sich somit um 8,97 ml/kg, was einer prozentualen Zunahme von 16,02 % entspricht. Auch bei den postpuberalen Jugendlichen ist der Zuwachs in der Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht statistisch hoch signifikant.

Somit nehmen sowohl die maximale Sauerstoffaufnahme als auch die maximale Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht in beiden Gruppen infolge des Trainings in hoch signifikanter Weise zu.

Es fällt jedoch auf, daß bei der Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht die Ausgangswerte der postpuberalen Gruppe verhältnismäßig deutlich über denen der intrapuberalen Gruppe liegen. Vor dem Training lag die Differenz bei 7,97 ml pro kg Körpergewicht (= 16,60 %), nach dem Training verringerte sich die Differenz auf 7,45 ml/kg K. (= 12,95 %).

Die Sportanamnese aus Kapitel 2.1.1.b bzw. 2.1.2.b läßt vermuten, daß sich in diesen Differenzen der Absolutwerte ein unterschiedlicher Trainingszustand beider Gruppen bei Testbeginn niederschlägt. Vergleicht man die bei unseren Untersuchungen gefundenen Ergebnisse noch einmal mit den Angaben von Astrand, so läßt sich erkennen, daß die intrapuberalen Schüler doch relativ deutlich unter den von ihnen angegebenen Durchschnittswerten liegen.

Da die Trainierbarkeit absolut umso kleiner ist, je jünger ein Jugendlicher ist (17), hätte man bei gleichem Trainingszustand erwarten können, daß die postpuberalen Schüler einen absolut größeren Leistungszuwachs erzielen als die intrapuberalen Schüler, der relative Zuwachs jedoch annähernd gleich groß ist. Da bei gleichem Trainingsmaß der Leistungszuwachs umgekehrt proportional zum Trainingszustand ist, macht der

bessere Trainingszustand der postpuberalen Schüler ihre höheren Absolutwerte in der Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht verständlich und erklärt zugleich, warum der absolute Zuwachs bei beiden Gruppen annähernd gleich, der relative bei den intrapuberalen Schülern geringfügig höher ist.

4.3. Das Atemminutenvolumen

Auch das maximale Atemminutenvolumen nimmt bei Kindern und Jugendlichen mit fortschreitendem Alter annähernd gewichtsproportional zu, so daß das Atemminutenvolumen bei maximaler Leistung pro kg Körpergewicht in allen Altersstufen annähernd gleich groß ist (2). Die Angaben verschiedener Untersucher über Durchschnittswerte des maximalen Atemminutenvolumens schwanken je nach apparativer Untersuchungsmethodik und Untersuchungsgut beträchtlich. So gibt Galle (8) 80,11 an, Astrand (2) 111 l, Schneider (26) 120 l; Krause (16a) fand bei seinem Kollektiv von erwachsenen männlichen Normalpersonen einen Wert von 89,9 l.

Astrand (2) gibt für 12- und 13-jährige $75,2 \text{ l} \pm 3,1 \text{ l}$ an, für 14- und 15-jährige $112,9 \text{ l} \pm 6,1 \text{ l}$ und für 16- bis 18-jährige $110,3 \text{ l} \pm 8,0 \text{ l}$.

Die intrapuberalen Jugendlichen hatten vor dem Training ein maximales Atemminutenvolumen von $61,41 \text{ l}$ ($s = 9,78 \text{ l}$) und steigerten sich auf $71,85 \text{ l}$ ($s = 13,07$), was einer absoluten Zunahme um $10,44 \text{ l}$ und einer relativen von genau 17 % entspricht.

Diese Zunahme ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,01$ signifikant und bestätigt die Tatsache, daß das maximale Atemminutenvolumen durch Training gesteigert werden kann.

Die postpuberalen Jugendlichen hatten vor dem Training ein maximales Atemminutenvolumen von 104,09 l ($s = 12,09$), das sie nur geringfügig um 6,22 l = 5,97 % auf 110,31 l steigern konnten ($s = 20,43$). Diese Zunahme ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p > 0,30$ nicht signifikant.

Es gibt einige Befunde, die man zur Erklärung der Unterschiede in der Zunahme des maximalen Atemminutenvolumens in beiden Gruppen heranziehen kann. Rechnet man das maximale Atemminutenvolumen auf kg Körpergewicht um, so bestehen ähnlich wie in der Sauerstoffaufnahme vor Trainingsbeginn erhebliche Differenzen zwischen beiden Gruppen, die sich nach dem Training fast auf die Hälfte reduziert haben. So steigern sich die intrapuberalen Schüler von 1,26 l/kg Körpergewicht auf 1,47 l/kg K, die postpuberalen lediglich von 1,55 l/kg Körpergewicht auf 1,64 l/kg K.

Man darf jedoch das Atemminutenvolumen nicht isoliert ohne die dazugehörige maximale Sauerstoffaufnahme betrachten. Sieht man sich die Durchschnittswerte im Atemäquivalent beider Gruppen in Tabelle IV an, so läßt sich unschwer erkennen, daß die postpuberalen Schüler vor Trainingsbeginn um rund 7 % über den Werten der intrapuberalen Schüler lagen, also weniger ökonomisch geatmet haben müssen. Die postpuberalen Jugendlichen konnten durch das Training bei einer Zunahme des Atemminutenvolumens um nur 6 l, ihre maximale Sauerstoffaufnahme um durchschnittlich 600 ccm steigern, während die intrapuberalen Jugendlichen für eine Zunahme ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme um 480 ccm, das Atemminutenvolumen um 10,5 l steigern mußten. Diese Befunde sprechen für eine ganz erheblich stärkere Ökonomisierung der Leistungsatmung bei den postpuberalen Jugendlichen, bei denen 25 % trotz gesteigerter Leistung ein niedrigeres Atemminutenvolumen als vor dem Training hatten, was nur bei 10 % der intrapuberalen Schüler der Fall war.

In Tabelle V ist das Verhalten des Atemminutenvolumens bei jeweils gleichen ergometrischen Leistungsstufen vor und nach dem Training in den letzten drei Minuten für beide Gruppen dargestellt. In beiden Gruppen werden nach dem Training gleich große ergometrische Leistungsstufen bei einem deutlich verringerten Atemminutenvolumen vollbracht. Die Zunahme des Atemminutenvolumens nach dem Training beruht also im wesentlichen auf der gesteigerten Wattleistung.

4.4. Die Herzschlagfrequenz

a) Ruhefrequenz

Die Ruhepulsfrequenz wird während der ganzen Wachstumsperiode zunehmend niedriger. Aus den Diagrammen von Iliff und Lee (14) läßt sich für 4jährige eine durchschnittliche Ruhepulsfrequenz von 86, für 6jährige von 79, für 12- und 13jährige von 66 und für 17- und 18jährige von etwa 60 entnehmen.

Bei der intrapuberalen Gruppe lag die Ruhepulsfrequenz vor dem Training bei 78,4 ($s = 14,5$), nach dem Training bei 69,1 ($s = 9,7$), was eine Senkung um 9,3 Herzschläge oder 11,9 % bedeutet, die bei einem $p < 0,05$ statistisch signifikant ist.

In der postpuberalen Gruppe lag die Ruhefrequenz vor dem Training bei 68,9 ($s = 14,75$), nach dem Training bei 61,7 ($s = 10,25$). Diese Abnahme um 7,2 Herzschläge pro Minute = 10,5 % ist bei einem $p > 0,1$ nicht signifikant.

Nach Mellerowicz (21 a) führt Dauerleistungstraining in Abhängigkeit von Art und Maß des Trainings zu einer Verminderung der Herzschlagfrequenz. Die Ursache für diese Herzfrequenzminderung ist nach Nöcker (23 b) auf die vagotone bzw. trophotrope Umstellung des Kreislaufs in Ruhe durch Training zurückzuführen. Anpassungs-, Austreibungszeit und Diastolendauer sind beim Trainierten verlängert.

Bei der Klärung der Frage, ob die Abnahme der Ruhepulsfrequenzen bei unseren Versuchspersonen in erster Linie trainingsbedingt ist, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

1. Obwohl es sich bei unseren Versuchspersonen keineswegs ausschließlich um untrainierte Jugendliche handelt, liegen die Ruhefrequenzen in beiden Altersgruppen deutlich über den von Iliff und Lee für die einzelnen Altersklassen genannten Durchschnittswerten.

2. Die Ruhepulsfrequenzen wurden aus dem Ruhe-EKG ermittelt, das unmittelbar vor dem bevorstehenden spiroergometrischen Maximalversuch aufgenommen wurde. Es dürften somit für die relativ hohen Ruhepulsfrequenzen vor dem Training in erster Linie psychische Faktoren wie ein Vorstart-Spannungszustand sowie ungewohnte Umgebung und Apparaturen verantwortlich sein.

Das Absinken der Ruhepulsfrequenzen auf die von Iliff und Lee genannten Durchschnittswerte dürfte damit weniger auf die Trainingswirkung als vielmehr auf die Gewöhnung an Untersucher, Umgebung und Apparaturen zurückzuführen sein.

b) Leistungsherzschlagfrequenz

Die maximale Herzfrequenz zeigt neben anderen Größen wie dem Sauerstoffpuls, dem Atemäquivalent und dem respiratorischen Quotienten an, ob die Versuchsperson bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit belastet war. Nach Hollmann (11 a, b) nimmt die Pulsfrequenz nahezu linear der Belastungsintensität bei minütlich ansteigender Leistung zu, wobei sich Trainingsunterschiede deutlich bemerkbar machen. Im Grenzbereich der Leistungsfähigkeit erreichen sowohl trainierte als auch untrainierte Personen bis zum 4. Lebensjahrzehnt maximale Frequenzen von 180-200.

Mellerowicz und Galle (9) ermittelten bei maximalen Dauerleistungen am Handkurbelergometer, die mit Fußkurbelarbeit im Sitzen verglichen werden kann, Herzschlagfrequenzen von 198 für 12- und 13jährige, 192 für 14- und 15jährige, 187 für 16- und 17jährige sowie 181 für 18- und 19jährige. Die mittlere maximale Herzfrequenz liegt in den Altersgruppen von 10-20 Jahren um rund 200/min, wobei die untere Grenze des Maximalbereiches 10-20 Herzschläge unter diesem Wert liegt. Überschreiten die gemessenen Frequenzen bei ergometrischer Leistung diese Werte, so kann eine Maximalleistung angenommen werden.

Bei der intrapuberalen Gruppe ermittelten wir eine durchschnittliche maximale Herzfrequenz von 192,8 vor dem Training, die nach dem Training mit 195,7 nur geringfügig um 1,53 % höher lag.

Bei den postpuberalen Jugendlichen ist das Ergebnis fast identisch; hier lag die mittlere maximale Herzfrequenz vor dem Training bei 191,9, nach dem Training bei 193,8, was eine Zunahme um 1 % bedeutet. Diese Zunahmen waren in beiden Gruppen nicht signifikant.

Man kann diesem Ergebnis entnehmen, daß beide Gruppen jeweils bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit belastet waren. Es läßt auf einen besseren Trainingszustand beider Gruppen schließen, daß nach dem Training eine durchschnittlich stark gesteigerte Leistung mit absolut kaum erhöhter Herzschlagfrequenz geleistet werden konnte.

4.5. Der Sauerstoffpuls

Der Sauerstoffpuls gibt an, wieviel ml Sauerstoff pro Herzschlag transportiert werden. Der maximale Sauerstoffpuls ist ein Maß für das Schlagvolumen bei maximaler Leistung. Er gibt Aufschluß über die Anpassungsfähigkeit des Herzens, eine Steigerung des Herzminutenvolumens durch ökonomische Schlagvolumenvermehrung oder vorwiegend durch unökonomische Frequenzsteigerung zu erzielen, ist also ein Kriterium für die Kreislaufökonomie.

Ein Kind mit seinem kleinen Herzen erzielt eine Steigerung des HMV in erster Linie durch Frequenzsteigerung und weniger durch Schlagvolumenvermehrung. Nach Thörner (29) nimmt das Herzgewicht von der Geburt bis zum Erwachsensein um rund das 12fache zu. Bis zu Beginn der beiden Hauptjahre der Reifung der inneren Organe, die zugleich das Wachstumsmaximum dar-

stellen, wächst das Herz jährlich um 6,5 ccm und erreicht etwa 130 ccm, in den beiden Reifejahren nimmt es dagegen um etwa 60 ccm zu.

Da der Sauerstoffpuls umso größer ist, je größer das Herz ist, muß der Sauerstoffpuls im Laufe der Entwicklung kontinuierlich zunehmen, besonders steil in der Pubertät. Hollmann (in 21 f) gibt als Durchschnittswerte für 12- und 13jährige $9,1 \pm 2,4$ ml an, für 14- und 15jährige $12,4 \pm 3,8$, für 16- und 17jährige $14,6 \pm 3,2$ und für 18- und 19jährige $17,1 \pm 3,5$.

Bei unseren Untersuchungen liegen beide Gruppen bereits vor dem Training knapp oberhalb der von Hollmann für ihre Altersgruppen angegebenen $\pm 3s$ Grenzbereiche der Durchschnittswerte.

Die intrapubereale Gruppe lag bei 12,04 ml/Schlag, die postpuberale bei 19,34 ml/Schlag. Die intrapubereale Gruppe steigerte sich um 18,5 % auf 14,27 die postpuberale Gruppe um 14,9 % auf 22,22 ml/Schlag. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,005$ bei den intrapuberalen Schülern bzw. $p < 0,001$ bei den postpuberalen Schülern ist diese Zunahme des Sauerstoffpulses in jedem Falle als hoch signifikant anzusehen. Dieses Ergebnis bestätigt die Auffassung von Nöcker (23 b), daß bereits ein intensives Training von 4 Wochen zu einem deutlich nachweisbaren Einfluß auf Herzgröße und -funktion führt, der sich auch in einer Erhöhung des Sauerstoffpulses niederschlägt.

4.6. Das Atemäquivalent

Das Atemäquivalent gibt an, wieviel ml Luft ventiliert werden müssen, um einen ml Sauerstoff aufzunehmen. Die Größe des Atemäquivalentes ist abhängig von konstitutionellen Faktoren, besonders der morphologischen Beschaffenheit des Atemapparates, von Alter und Geschlecht (21 d), aber auch von der jeweiligen Arbeitsform (11 a). Es ist ein Maß für die Atmungsökonomie, denn je kleiner der Wert des Atemäquivalentes ist, desto ökonomischer ist die Atmung (21 d). Durch Training wird die Ökonomie der Atmung verbessert. Es ist ein geringeres AMV erforderlich, um dieselbe Menge Sauerstoff aufzunehmen (23 c). Im Ruhezustand schwankt nach Hollmann (11 a) der Wert zwischen 15 und 30, Mellerowicz und Nowacki (18) fanden Werte von 27 im Stehen und Sitzen bzw. 28 im Liegen.

Hollmann stellte fest (11 a), daß unter Belastung das Atemäquivalent zunächst bis zu einer individuell unterschiedlich hohen Belastungsstufe abfällt als Ausdruck der verbesserten Atmungsökonomie, dann aber mit weiter ansteigender Leistung bis zum Grenzbereich der körperlichen Leistungsfähigkeit zunimmt, weil das Atemminutenvolumen verhältnismäßig stärker ansteigt als die Sauerstoffaufnahme. Das Atemäquivalent steigt also an als Ausdruck eines Absinkens der Atmungsökonomie. Hollmann (13) nennt für den Grenzbereich der maximalen Leistungsgröße als kritischen Wert das Überschreiten des Atemäquivalentes von 25-26, nach Mellerowicz (21 d) und Nöcker (23 c) ist der Grenzbereich der maximalen Leistungsgröße dann erreicht, wenn das Atemäquivalent 30 überschreitet. Atemminutenvolumen und maximale Sauerstoffaufnahme haben dann unter Leistungsumsatzbedingungen ihre individuell maximale Größe erreicht. Parallel dazu ist die anaerobe Kapazität voll ausgeschöpft, so daß die sportliche Leistung abgebrochen werden muß.

Bei unseren Versuchspersonen konnte die intrapuberala Gruppe das Atemäquivalent von 26,62 um 2,1 % auf 26,6 senken, die postpuberala Gruppe von 28,34 um 8,7 % auf 25,88. Diese Abnahmen sind mit einem $p > 0,5$ bzw. $p > 0,1$ nicht signifikant. Jedoch könnte die relativ deutliche Abnahme des Atemäquivalents der postpuberalen Gruppe Hinweis auf eine stärkere Ausschöpfung der Leistungsreserven oder eine weniger ökonomische Atmung vor dem Training sein.

Insgesamt gesehen entsprechen die von unseren Versuchspersonen ermittelten Werte den von Hollmann, Mellerowicz und Nöcker genannten Grenzwerte annähernd, so daß ein Erreichen des Grenzbereiches der maximalen körperlichen Leistungsfähigkeit unserer Versuchspersonen in den beiden Leistungstests vor und nach dem Training angenommen werden darf.

Unsere Untersuchungsergebnisse bestätigen, daß sich das Atemäquivalent durch Training senken läßt, wie die Tabelle V zeigt. In dieser Tabelle sind die Werte des Atemäquivalents beider Gruppen für die letzten drei Minuten bei jeweils gleich großen Leistungsstufen vor und nach dem Training angegeben. Vergleicht man das Atemäquivalent bei der maximal erreichten Leistungsstufe vor dem Training mit dem Wert, der bei der gleich großen Leistungsstufe nach dem Training ermittelt worden ist, so ergibt sich für die intrapuberalen Schüler eine Senkung des Atemäquivalents um 14,1 % für die postpuberalen Schüler sogar um 15,7 %.

4.7. Der respiratorische Quotient

Der respiratorische Quotient ist der Quotient aus Kohlendioxidausscheidung und der Sauerstoffaufnahme. Nach Hollmann (11 a) beträgt der RQ in Ruhe 0,85. Mit dem Beginn der Arbeit kommt es zunächst zu einem Absinken des RQ (21 e), später steigt mit zunehmender Leistung der RQ an, wobei die Schnelligkeit des Anstiegs von der Größe der Leistung, vom Alter, vom Geschlecht und vom Trainingszustand der Versuchspersonen abhängig ist. Der Eintritt in den Grenzbereich der Leistungsfähigkeit ist dadurch charakterisiert, daß der RQ den Wert 1,0 erreicht. Nach den Untersuchungen von Mellerowicz (21 e) ist untrainierten Kindern, Männern und Frauen eine Weiterarbeit über einen RQ von 1,0 hinaus im allgemeinen nicht möglich. Meist wird bei diesen Personengruppen die Belastung schon beim Erreichen von RQ-Werten von 0,95-0,98 abgebrochen, da die Untrainierten Leistungen bis zur Erschöpfung nicht gewöhnt sind.

Dementsprechend brach bei unseren Versuchen die intrapubereale Gruppe die Leistung vor dem Training bei einem RQ von 0,965 ab, nach dem Training konnte dagegen die maximale Leistung bis zu einem RQ von 0,995 gesteigert werden.

Die postpuberale Gruppe erreichte im Test vor dem Training bei maximaler Leistung einen RQ von 1,038, nach dem Training wurde die Leistung bei einem RQ von 0,994 abgebrochen.

Die bei unseren Leistungstests ermittelten Werte beider Versuchspersonengruppen liegen vor und nach dem Training in dem oben erwähnten Grenzbereich der maximalen Leistungsfähigkeit. Die Differenzen im Verhalten beider Gruppen sind ein möglicher Hinweis darauf, daß die postpuberalen Schüler vor dem Training ihre Leistungsreserven in stärkerem Maße angegriffen haben als die intrapuberalen Schüler.

4.8. Die Wattleistung

Die Wattleistung ist unter Berücksichtigung einer optimalen Belastungszeit, einer leistungsgerechten Anfangswattstufe, einer dem Untersuchungsziel entsprechenden Wahl der Belastungsform und der zu erwartenden Leistung pro kg Körpergewicht bei der vita-maxima-Untersuchung von großer Bedeutung für das Erreichen der Leistungsgrenze des cardiopulmonalen Systems und der maximalen Sauerstoffaufnahme (16 b).

Anfangswattstufe und Steigerung der Leistung wurden für unsere beiden Vergleichsgruppen im Hinblick auf die zu erwartende höchste Wattstufe bei einer angemessenen Belastungszeit ausgewählt. Liegt die Belastungszeit unter 2-3 Minuten, so kann das Herz-Kreislaufsystem noch nicht "angesprungen" sein (12), dauert die Belastungszeit wesentlich länger als 10 Minuten, so können die periphere Muskulatur und die Kniegelenke vor dem cardiopulmonalen System limitierende Faktoren sein (24).

Die intrapubereale Gruppe beendete die Leistung vor dem Training durchschnittlich nach 5,65 Minuten und erreichte dabei eine durchschnittliche Wattzahl von 166,25. Durch das Training konnte die Dauer der Leistung um durchschnittlich 1,2 Minuten auf 6,85 gesteigert werden, was einer Zunahme um 21,2 % entspricht (Tabelle III). Die maximal erreichte Leistung lag nun bei 194,44 Watt (+ 28,19 Watt), die Steigerung betrug somit 16,95 %. In beiden Fällen ist das Ergebnis mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,001$ statistisch hoch signifikant.

Die postpuberale Gruppe erreichte vor dem Training bei einer durchschnittlichen Belastungszeit von 7,69 Minuten eine maximale Leistung von 267,19 Watt. Nach dem Training konnte die Leistung um 0,87 Minuten auf 8,56 Minuten verlängert werden, was einer Steigerung um 11,4 % entspricht. Die maximale Leistung lag nun bei 289,0 Watt (+ 21,87 Watt), die Steigerung betrug somit 8,18 %.

Die Zunahme von Leistungszeit und maximaler Leistung ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,02$ signifikant.

Betrachtet man die relative Wattleistung, so liegt die postpuberale Gruppe vor dem Training mit 3,99 Watt/kg Körpergewicht deutlich über der intrapuberalen Gruppe mit 3,41 Watt/kg Körpergewicht (+ 17 %). Diese Differenz wurde durch das Training deutlich verringert und betrug nach dem Training nur noch 4,31 Watt der postpuberalen Gruppe gegenüber 3,98 Watt der intrapuberalen Gruppe (+ 8,3 %). Diese Differenzen in der Leistungssteigerung beider Gruppen sind jedoch nicht allein durch einen unterschiedlichen Trainingszustand beider Gruppen vor Beginn der Untersuchung, sondern auch methodisch bedingt. Wie in Kapitel 2.5. dargestellt, konnte der Versuch stets nur am Ende einer vollen Minute abgebrochen werden, wobei eine Mehrleistung von 1 Minute stets einer Mehrleistung von 25 Watt entsprechen mußte, so daß die beiden Größen Watt- und Minutenzahl aufs engste miteinander korreliert sind. Eine Mehrleistung von 1 Minute bedeutet für die intrapuberale Gruppe eine Steigerung von rund 18 %, für die postpuberale nur um 13 %. Die postpuberalen Schüler hätten ihre Leistung damit um rund 1,5 Minuten steigern müssen, um dasselbe Ergebnis wie die intrapuberalen Schüler zu erreichen, was jedoch bei dieser Versuchsanordnung nicht möglich war.

4.9. Leistungsbeeinflussende Faktoren

Bei der Besprechung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse hat sich gezeigt, daß die Werte der postpuberalen Schüler in der maximalen Sauerstoffaufnahme, im Atemminutenvolumen und in der Wattleistung jeweils pro kg Körpergewicht über denen der intrapuberalen Schüler liegen, was auf einen besseren Trainingszustand der postpuberalen Schüler vor Untersuchungsbeginn schließen läßt. Um die Auswirkungen eines möglichen unterschiedlichen Trainingszustandes beider Gruppen vor Trainingsbeginn auf die Untersuchungsergebnisse zu beurteilen, wurde eine gesonderte Betrachtung angestellt, deren Ergebnisse Tabelle VI zeigt.

Tabelle VI

	Watt	%	Watt/kg	%	AMV	%	AMV/kg	%	O ₂ /kg	%
intrapubereale	I 166,25	16,95	3,41	16,71	61,41	17,00	1,26	16,66	48,01	19,76
Gruppe (20 Schüler)	II 194,44	17%	3,98	17%	71,85	23,57%	1,47	23,57%	57,50	16,60%
POSTPUBERALE	I 267,19	8,18	3,99	8,02	104,09	5,97	1,56	5,97	55,98	16,02
Gruppe (16 Schüler)	II 289,06		4,31		110,31		1,65		64,95	
intrapubereale	I 169,64	15,79	3,62	14,88	63,80	14,81	1,36	13,80	50,61	17,39
Gruppe (14 Schüler)	II 196,42	94%	4,16	94%	73,25	10,86%	1,55	10,86%	59,41	7,25%
postpubereale	I 269,64	8,61	3,96	8,64	102,89	7,43	1,51	7,33	54,28	16,06
Gruppe (14 Schüler)	II 292,85		4,30		110,53		1,62		63,00	

	O ₂ -max	%	O ₂ -Puls	%	Minuten	%
intrapubereale	I 2,315	20,73	12,04	18,48	5,65	21,23
Gruppe (20 Schüler)	II 2,795		14,27		6,85	
postpubereale	I 3,703	16,28	19,34	14,89	7,69	11,38
Gruppe (16 Schüler)	II 4,306		22,22		8,56	
intrapubereale	I 2,354	18,64	12,34	15,96	5,79	18,53
Gruppe (14 Schüler)	II 2,793		14,31		6,86	
postpubereale	I 3,663	16,16	19,25	14,70	7,79	11,92
Gruppe (14 Schüler)	II 4,255		22,08		8,71	

Dabei wurden beide Gruppen auf jeweils 14 Schüler verringert, indem die Ergebnisse von 6 intrapuberalen und 2 postpuberalen Schülern nicht berücksichtigt wurden, die in den Punkten Watt/kg Körpergewicht, AMV/kg K. und O_2 -max./kg K. deutlich unter bzw. über dem Durchschnitt vor Trainingsbeginn lagen und somit einen erheblich schlechteren bzw. besseren Trainingszustand als der Durchschnitt vermuten ließen. Durch diese Maßnahme konnte die Differenz zwischen den intrapuberalen und den postpuberalen Jugendlichen in der Wattleistung pro kg Körpergewicht von 17 % auf 9,4 %, im Atemminutenvolumen pro kg Körpergewicht von 23,6 % auf 10,9 % und in der maximalen Sauerstoffaufnahme pro kg Körpergewicht von 16,6 % auf 7,25 % verringert werden, was einer Angleichung des unterschiedlichen Trainingszustandes beider Gruppen vor Trainingsbeginn gleichkommt. Die unterschiedlich hohen Steigerungsraten beider Gruppen in den oben genannten Punkten konnten dadurch jedoch nicht in nennenswertem Umfang beeinflusst werden. Dies wird noch deutlicher, wenn man beide Gruppen in entsprechender Weise auf jeweils 12 Schüler pro Gruppe verringert, was zu einer fast völligen Angleichung der Werte in der Wattleistung, im Atemminutenvolumen und in der maximalen Sauerstoffaufnahme jeweils pro kg Körpergewicht führt, jedoch ebenfalls kaum einen Einfluß auf die Untersuchungsergebnisse hat. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß die geringeren Steigerungsraten der postpuberalen Gruppe in der Wattleistung, der Minutenzahl und im Atemminutenvolumen nicht ausschließlich auf den besseren Trainingszustand dieser Gruppe vor Untersuchungsbeginn zurückgeführt werden können.

Schließlich ist bei der Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse zu berücksichtigen, daß diese Untersuchung auch durch Faktoren beeinflusst wurde, die sich nicht objektivieren lassen wie z.B. der Leistungswille.

Wie unter 4.6. und 4.7. erwähnt gibt es einige Anhaltspunkte dafür, daß die leistungsgewohnten postpuberalen Schüler in der spiroergometrischen Untersuchung vor dem Training ihre Leistungsreserven in stärkerem Maße beansprucht haben als die intrapuberalen Schüler, die es nicht gewohnt waren, sich bis zur Erschöpfung auszugeben.

Während die postpuberalen Schüler im Laufe der Trainingsperiode aus schulischen Gründen nur unter Schwierigkeiten ihr Trainingsprogramm regelmäßig absolvieren konnten, waren die intrapuberalen Schüler mit großer Begeisterung dabei und mußten ständig gebremst werden, die vorgegebenen Leistungsstufen nicht zu überschreiten. Alle 20 intrapuberalen Schüler gehörten nur 2 Klassen an; sie trainierten gemeinsam, so daß sich hier ein regelrechter Wettkampfcharakter ergeben konnte, der die Bereitschaft, sich in der spiroergometrischen Untersuchung nach dem Training voll zu verausgaben, in erheblichem Maße gesteigert haben dürfte.

Diesem Punkt kam auch die Tatsache entgegen, daß die Leistung stets nur am Ende einer vollen Minute abgebrochen werden konnte, wenn die Versuchsperson glaubte, eine weitere Minute bei noch einmal gesteigerter Leistung nicht mehr absolvieren zu können. Der Wille der intrapuberalen Schüler, ein oder gar zwei Minuten mehr zu leisten als vor dem Training und seine Klassenkameraden zu übertreffen, dürfte unter diesen Umständen erheblich größer als bei den postpuberalen Schülern gewesen sein.

Mit der maximalen Wattleistung eng korreliert ist auch die Höhe des maximalen Atemminutenvolumens. Wie bereits in Kapitel 4.3. erwähnt, wurde nach dem Training in beiden Gruppen ein deutlich geringeres Atemminutenvolumen benötigt, um gleich große Leistungen wie vor dem Training zu vollbringen, so daß erhöhte Atemminutenvolumina stets aus erhöhten Wattleistungen resultierten und somit die Steigerung des Atemminutenvolumens

der Zunahme der Wattleistung in beiden Gruppen etwa parallel geht.

Schließlich konnte in Kapitel 4.3. auch gezeigt werden, daß bei den postpuberalen Jugendlichen eine deutlich stärkere Ökonomisierung der Leistungsatmung erfolgte, die für eine Steigerung der Sauerstoffaufnahme um 600 ml nur rund 61 mehr zu ventilieren hatte, während die intrapuberalen Schüler 10,51 mehr atmen mußten, um 480 ml Sauerstoff mehr aufzunehmen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

=====

Es wurden 20 intrapubereale und 16 postpubereale Schüler einem fünfwöchigen exakt dosierten Trainingsprogramm unterzogen. Jeweils vor und nach der Trainingsperiode wurde eine spirometrische Vita-Maxima-Untersuchung durchgeführt, deren Ergebnisse Auskunft über den Leistungszuwachs und die Trainierbarkeit von intra- und postpuberalen Schülern geben sollte.

Respiratorischer Quotient und maximale Herzfrequenz stimmten vor und nach dem Training in beiden Gruppen gut überein und veränderten sich nur unwesentlich, was als Zeichen einer annähernd maximalen Leistung beider Gruppen vor und nach dem Training angesehen werden darf.

In den Punkten Wattleistung und Leistungsdauer konnten sich die intrapuberalen Schüler in hoch signifikanter, die postpuberalen Schüler in signifikanter Weise steigern. Die intrapubereale Gruppe beendete die Leistung vor dem Training durchschnittlich nach 5,65 Minuten und erreichte dabei 106,25 Watt. Durch das Training konnte die Dauer der Leistung um 1,2 Minuten auf 6,85 Minuten gesteigert werden, was einer Zunahme von 21,2 % entspricht. Die maximal erreichte Wattleistung lag nun bei 195,44 Watt, die Steigerung betrug somit 16,95 %. Die postpubereale Gruppe erreichte vor dem Training bei einer durchschnittlichen Belastungszeit von 7,69 Minuten eine mittlere maximale Leistung von 267,19 Watt. Nach dem Training konnte die Leistung um 0,87 Minuten auf 8,56 Minuten verlängert werden, was einer Steigerung von 11,4 % entspricht. Die maximale Leistung lag nun bei 289,06 Watt, die Steigerung beträgt somit 8,18 %.

In beiden Punkten sind die Differenzen in der prozentualen Steigerung - 21,2 % und 16,95 % der intrapuberalen Schüler gegenüber 11,4 % und 8,18 % der postpuberalen Schüler - statistisch hoch signifikant.

Im maximalen Atemminutenvolumen steigerten sich die intrapuberalen Schüler von 61,41 l um 17 % auf 71,85 l in signifikanter Weise, die Steigerung der postpuberalen Schüler von 104,09 l um rund 6 % auf 110,31 l war dagegen nicht signifikant. Diese große Differenz zwischen beiden Gruppen in der prozentualen Steigerung des Atemminutenvolumens vor und nach dem Training ist statistisch gesehen jedoch nicht signifikant.

Die Gründe für das unterschiedliche Verhalten beider Gruppen in den oben genannten Punkten wurden in den Kapiteln 4.8. und 4.9. bereits ausführlich diskutiert. Als wesentlichste Punkte sollen hier noch einmal ungleiche exogene Umstände, Unterschiede in der Motivation zur Leistung und vor allem der ungleiche Trainingszustand beider Gruppen genannt werden. Dazu muß ergänzend gesagt werden, daß der Leistungszuwachs in beiden Gruppen insgesamt gesehen so groß gewesen ist, daß der Trainingszustand vor Versuchsbeginn in beiden Gruppen als relativ gering angesehen werden darf.

In den drei wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der cardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit- $\dot{V}O_2\text{max}$, $\dot{V}O_2\text{max/kg}$ und $PO_2\text{max}$ - konnten sich beide Gruppen in hochsignifikanter Weise steigern, wobei die Differenzen in der prozentualen Steigerung in allen drei Punkten statistisch nicht signifikant waren. Im $\dot{V}O_2\text{max}$ steigerten sich die intrapuberalen Schüler von 2315 ccm um 20,7 % auf 2795 ccm, die postpuberalen Schüler von 3703 ccm um 16,3 % auf 4306 ccm.

Im $\dot{V}O_2\text{max/kg}$ verbesserten sich die intrapuberalen Schüler von 48,01 ml um 19,76 % auf 57,50 ml, die postpuberalen Schüler von 55,98 ml um 16,02 % auf 64,95 ml.

Im $PO_2\text{max}$ steigerten sich die intrapuberalen Schüler von 12,04 ml um 18,5 % auf 14,27 ml, die postpuberalen Schüler von 19,34 ml um 14,9 % auf 22,22 ml.

Faßt man abschließend alle Punkte zusammen, so ergibt sich unter besonderer Berücksichtigung der zuletzt genannten Kriterien als Ergebnis dieser Untersuchung, daß die postpuberalen Schüler eine absolut größere Trainierbarkeit besitzen, sich in der relativen Trainierbarkeit von intra- und postpuberalen Schülern jedoch keine sicheren Unterschiede nachweisen lassen.

6. LITERATUR

=====

1. ARNOLD, A.: Lehrbuch der Sportmedizin
Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1960
2. ASTRAND, P.O.: Experimental Studies of Physical Working
Capacity in Relation to Sex and Age, Munksgaard,
Kopenhagen, 1952
3. BENGTSSON, E.: Acta med. scand. II, 1956, S. 91
4. DIETRICH et al.: Medizin und Sport 1974 S. 142 ff
5. DUDEL, H.: Faktoren sportlicher Leistungen bei Schulkindern
Johann Ambrosius Barth, München, 1965
6. FREUDENBERG, K.: Grundriß der medizinischen Statistik
Schattauer-Verlag, Stuttgart, 1962
7. FUCHS, G.: Mathematik für Mediziner und Biologen
Springer-Verlag, Berlin, 1969
8. GALLE, L.: Vergleichende Untersuchungen über das Verhalten
von Atem- und Kreislauffunktionen bei verschiedenen
Formen maximaler ergometrischer Arbeit.
Inaugural Dissertation FU Berlin 1961
9. GALLE, L., MELLEROWICZ, H.: Der Sportarzt 10, 1962, S. 332
10. GROH, H.: Sportmedizin, Herbert-Enke-Verlag, Stuttgart, 1962
11. HOLLMANN, W.: Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sport-
lers, Johann Ambrosius Barth, München, 1963
a) Ss. 14-17 b) S. 37
12. HOLLMANN, W.: Körperliches Training als Prävention von Herz-
und Kreislaufkrankheiten, Hippokrates, Stuttgart, 1965
13. HOLLMANN, W.: Kriterien der körperlichen, cardialen und
pulmonalen Leistungsgrenzen
in: Kongreßbericht des 1. Int. Seminars für Ergometrie
Hrsg.v.H.Mellerowicz und G.Hansen, S. 186 ff, Berlin
Ergon-Verlag 1965

14. ILIFF, A., LEE, A.: Pulse rate, respiratory and body temperature of children between two months and eighteen years of age.
aus: Children development 23, 1952, Seiten 237-245
15. JOKL, E., SIMON, E.: International Research in Sport and Physical Education, Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1964
16. KRAUSE, R.-D.: Die maximale Sauerstoffaufnahme als Kriterium der cardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit
Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät Lübeck, 1971. a) S. 127 b) S. 148
17. MELLEROWICZ, H.: Das körperliche Leistungsvermögen der heutigen Jugend, Juventa Verlag, München, 2.A., 1966
S. 33-38
18. MELLEROWICZ, H., NOWACKI, P.: Zeitschrift Kreislaufforschung
50, 1961, S. 1003
19. MELLEROWICZ, H.: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung, in: Int. Seminar für Ergometrie, Ergon-Verlag Berlin, 1965
20. MELLEROWICZ, H., MELLER, W.: Training
Springer-Verlag, 2.A., Berlin 1975
21. MELLEROWICZ, H.: Ergometrie. Grundriß der med. Leistungsmessung für die innere Medizin, Arbeitsmedizin, Sport-, Versorgungs- und Versicherungsmedizin.
Urban und Schwarzenberg, München-Berlin
a) S. 78 b) S. 129
c) S. 180 d) S. 223
e) S. 246-248 f) S. 267-268
- NÜCKER, J.: Physiologie der Leibesübungen
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1971

Lebenslauf
=====

26.5.1951	geboren in Berlin-Spandau als Sohn des Galvaniseurmeisters Rudolf Hartmann und seiner Ehefrau Helga, geb. Wießmeier.
April 1958	Einschulung in die Klosterfeld-grundschule
April 1962	Wechsel auf die Ernst-Ludwig-Heim-Schule mit Latein als erster Fremdsprache
April 1964	Kant-Gymnasium Berlin-Spandau
Januar 1971	Reifeprüfung
April 1971	Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin
März 1972	Vorphysikum
August 1973	Physikum
22.2.1977	Medizinisches Staatsexamen

